

PAT-NO: JP409014937A  
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 09014937 A  
TITLE: NON-CONTACT MEASURING METHOD FOR SURFACE SHAPE OF GEAR  
PUBN-DATE: January 17, 1997

INVENTOR-INFORMATION:

NAME  
KUBO, AIZO  
FUJIO, HIROSHIGE  
YATAGAI, TOYOHICO  
HO, MOTOHEI  
SAITO, YOSHIAKI  
SUZUKI, MITSUO

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME  
OSAKA SEIMITSU KIKAI KK

COUNTRY  
N/A

APPL-NO: JP07160955  
APPL-DATE: June 27, 1995

INT-CL (IPC): G01B011/24, G01M013/02 , G06F017/00

ABSTRACT:

PURPOSE: To accurately measure an asymmetrical gear surface shape without contact by using the simulation interference fringe image of a gear surface obtained based on gear specifications registered in a computer in advance as the image of a reference gear surface and comparing it with the gear surface interference fringe image to be measured.

CONSTITUTION: A measurement mechanism 4 is inclined to a state of matching with the twisted angle of a gear 7 to be measured and the beams of object light are radiated along the created bust of the gear. After setting a zero-point position according to a simulation program, either left or right gear surface is selected, an optical measuring probe 25 is moved to a specific position at the time of photographing the gear surface and the measurement mechanism 4 is moved to a position specified by the measurement programs, thus causing the gear surface with interference fringes to appear on a camera 10. A phase-shifting device is driven by a command from a computer, and a mirror 27a is finely moved by  $1/n$  of the wavelength each, thus reading the data for one pitch of the fringes and thus measuring the gear surface shape to be measured with the simulation image of the gear surface by the computer as a reference surface without any contact.

COPYRIGHT: (C)1997, JPO

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-14937

(43)公開日 平成9年(1997)1月17日

(51)Int.Cl. <sup>*</sup>	識別記号	庁内整理番号	P I	技術表示箇所
G 0 1 B 11/24			G 0 1 B 11/24	D
G 0 1 M 13/02			G 0 1 M 13/02	
G 0 6 F 17/00		9168-5L	G 0 6 F 15/20	D

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 12 頁)

(21)出願番号 特願平7-160955  
(22)出願日 平成7年(1995)6月27日

(71)出願人 000205568  
大阪精密機械株式会社  
大阪府東大阪市御厨730番地の2  
(72)発明者 久保 愛三  
京都府京都市北区大宮西総門口町3-1  
(72)発明者 藤尾 博重  
奈良県奈良市叡島町1丁目510-21  
(72)発明者 谷田貝 豊彦  
千葉県流山市松が丘2丁目230-85  
(72)発明者 方 素平  
京都府京都市左京区吉田泉殿町61番地  
(74)代理人 弁理士 石田 敬 (外3名)

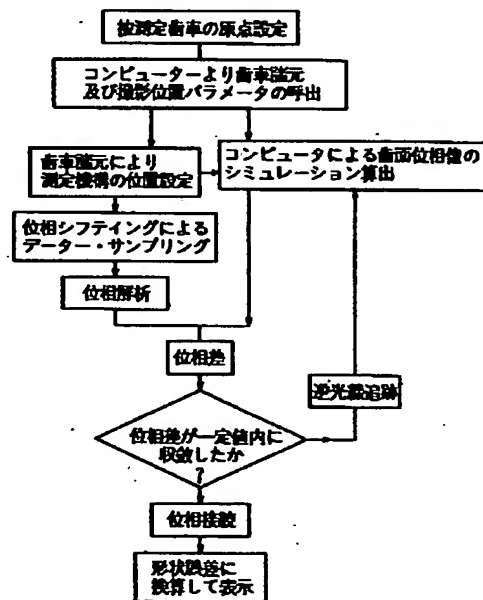
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 歯車の歯面形状の非接触測定方法

(57)【要約】

【目的】 歯車の歯面形状を被接触測定するとき、コンピュータを駆使して、基準歯面と被測定歯面との比較により測定するとき、ホログラム像の使用を配した測定方法を得ること。

【構成】 コンピュータのシミュレーション像又は実際のマスタ歯面と被測定歯面との比較差を逆光線追跡および光線追跡することにより理論値またはマスタ値との差を取敢させ、最終的に歯面誤差を得るようにした歯面形状の非接触測定方法を構成した。



理論歯面のシミュレーション像と  
測定歯面の比較測定法

1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 歯車の非対称性を有した歯面形状を参照光と物体光とを用いて非接触的に測定する歯面形状の測定方法において、

予めコンピュータに登録された歯車仕様に基づいて所定位置からの前記参照光および物体光に関して得た該歯車歯面のシミュレーション干渉縞像を基準歯面の像として該シミュレーション干渉縞像と被測定対象の歯車の歯面干渉縞像とを比較して誤差データを算出、測定し、

このとき、該測定データの前記非対称性を有した被測定歯車々面で生ずる機械的光学的不一致に起因する誤差を解消すべく、該測定データを逆光線追跡法、光線追跡法を繰り返し行い、

以て基準歯面像であるシミュレーション干渉縞像との差を収斂させるようにしたことを特徴とする歯車の歯面形状の非接触測定方法。

【請求項2】 歯車の非対称性を有した歯面形状を参照光と物体光とを用いて非接触的に測定する方法において、

予め得たマスク歯面形状の基準歯面干渉縞像に対し、前記参照光、物体光を用いた被測定歯車の歯面干渉縞像を比較して誤差データを算出、測定し、

このとき、該測定データの前記非対称性を有した被測定歯車々面で生ずる機械的光学的不一致に起因する誤差を解消すべく、該測定データを逆光線追跡法、光線追跡法を繰り返し行い、

以て基準歯面像との差を収斂させるようにしたことを特徴とする歯車の歯面形状の非接触測定方法。

【請求項3】 請求項1又は2に記載の歯車の非対称性を有した歯面形状の非接触測定方法において、

前記基準歯面像と被測定歯面像とを比較して誤差データを算出、測定するときに、該基準歯面と被測定歯面との歯面に関して位相シフト法によって位相データを得て、各々の位相データの位相解析を行い、

各々の位相データを長さに変換する前に該位相解析された位相データの差を求め、

得られた位相データの差から長さに変換して被測定歯車々面の誤差形状を得るようにしたことを特徴とした歯面形状の非接触測定方法。

【請求項4】 請求項1又は2に記載の歯車の非対称性を有した歯面形状の非接触測定方法において、前記参照光の光路中に前記被測定歯車々面の曲率に相当する等価レンズを挿入し、該被測定歯車々面の干渉縞の次数を低減させ、以て測定の自動化を図るようにした歯面形状の非接触測定方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、歯車の歯面形状の非接触測定方法に関し、特に、光源から発した測定光を参照光と物体光とに分離して物体光を被測定歯面に入射、反

2

射させ、参照光との干渉により干渉縞を得て基準歯面に関する同様な干渉縞との比較に基づいて測定データを得て歯面形状の非接触測定を行う従来の非接触測定方法に対比してより高精度かつ高速度で歯車の歯面の測定を可能とする歯車の歯面の非接触測定方法に関する。

【0002】本発明の歯車歯面形状の非接触測定方法によれば、近時の歯車加工が目指している複雑な歯面形状が設計通りの形状に加工され、かつ所要の修正が成されているかどうかを的確にしかも精密に測定データとして示して加工プロセスにフィードバックすることを可能にし、かつそのような非接触測定方法を実施するための装置が提供されるのである。

## 【0003】

【従来の技術】歯車の設計、製造は現在、歯面には複雑な修正を施して設計形状に可及的に一致させるようにしているため、高度の技術を必要とする。すなわち、如何に騒音と振動の少ない歯車装置を製造するか、各歯車製造社がしのぎを削っている状況にある。

【0004】一般的に、これらの歯車の歯面形状の測定には、コンピュータを導入した数値制御方式のCNC接触式測定機が使用されているが、最近の精密な加工では、このような接触式測定機を用いた測定方法ではせいぜい測定点の連なりで歯面形状を求めるものであり、歯面全面の形状を絶対的に測定、把握することが不可能であるために、実質的に当該接触式測定機では検出不能な形状誤差の修正を求められ、修正を施さねばならない場合が多発して来ている。

【0005】すなわち、このような接触式歯車測定機では上記のように歯面の1つの線上を触針でトレースして集約的なデータを得るに過ぎず、その他の歯面領域に関しては実際の測定データが不明である。そして、このような測定データの不明な歯面領域の形状に起因した騒音が発生することは珍しくない。上述の不具合点を解消すべく、本出願人は、既に、非接触式の歯面形状測定方法と、その実施に直接用いる測定装置を提案している（米国特許第4,910,561号）。この非接触歯面形状測定方法では、ホログラフィック干渉を使用した非接触測定方法を採用し、この場合には、先ず、被測定対照歯車のホログラムを作製しなければならない。ホログラムの作製は、かなり専門的な知識を要し、測定作業者にこのホログラム作製工程の管理・作業を行わせるのでは、この測定機を使用する上でメリットをなくし、同測定機を持つ性能を生かした広範な利用を望めない状況にある。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、被測定対象歯車の歯面形状のホログラムを作製することによる上述の煩瑣を解消することの可能な歯車の歯面形状の非接触測定方法を提供することにある。本発明の他の目的は、特に、歯車の歯面形状が有する非対称性に着目し

50

て、その非対称歯面形状を高精度に且つ簡便に参照光、物体光を用いた非接触手法で測定することが可能な歯車の歯面形状の非接触測定方法を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明は上述の目的に鑑みて、歯車の非対称性を有した歯面形状を参照光と物体光とを用いて非接触的に測定する歯面形状の測定方法において、予めコンピュータに登録された歯車仕様に基づいて所定位置からの前記参照光および物体光に関して得た該歯車歯面のシミュレーション干渉縞像を基準歯面の像として該シミュレーション干渉縞像と被測定対象の歯車の歯面干渉縞像とを比較して誤差データを算出、測定し、このとき、該測定データの前記非対称性を有した被測定歯車々面で生ずる機械的光学的不一致に起因する誤差を解消すべく、該測定データを逆光線追跡法、光線追跡法を繰り返し行い、以て基準歯面像であるシミュレーション干渉縞像との差を収斂させるようにした歯車の歯面形状の非接触測定方法を提供するものである。

【0008】本発明は又、歯車の非対称性を有した歯面形状を参照光と物体光とを用いて非接触的に測定する方法において、予め得たマスタ歯面形状の基準歯面干渉縞像に対し、前記参照光、物体光を用いた被測定歯車の歯面干渉縞像を比較して誤差データを算出、測定し、このとき、該測定データの前記非対称性を有した被測定歯車々面で生ずる機械的光学的不一致に起因する誤差を解消すべく、該測定データを逆光線追跡法、光線追跡法を繰り返し行い、以て基準歯面像との差を収斂させるようにした歯車の歯面形状の非接触測定方法を提供するものである。

【0009】

【作用】本発明は、従来のホログラムに代えてコンピュータによる歯面のシミュレーション像または基準歯面になし得る高精度の実際の歯面（マスタ歯面）を使用し、このようなシミュレーション像又はマスタ歯面に対する被測定対象歯車の歯面形状を非接触測定する方法としたものである。特に、上記マスタ歯面を用いる方法では、被測定歯車の加工過程で、騒音の少ない歯面を得た場合に、その歯車をマスタ歯車にして他の多数の歯車の歯面精度を測定して行く方法を採用することが可能となり、測定の煩瑣を大いに低減することができる。

【0010】また、この方法によれば、一旦マスタ歯車の歯面データをコンピュータの記憶手段内に記憶しておけば、以後の測定時に直ちにマスタ歯面とすることが可能であり、従って直ちに、測定を開始することが可能となる。また、上述の本発明の測定方法によれば、解析途中で起こる位相の接続困難の問題、そのための精度劣化の問題に対し、演算方法を改良し、従来最大の難関であった位相接続の問題を解決することができるのである。また、これらに付随して測定の基準点の設定を容易にし、短時間で測定のデータが得られるようにすることが

可能となるのである。

【0011】そして、このように、本来複雑なインポリュート等の歯車歯面の測定を容易化し、短時間で測定結果が得られ、かつ、その測定結果を設計、加工側に貴重なデータとしてフィードバックすることを可能にした歯車の歯面形状測定方法が得られる結果となるのである。本発明によれば、米国特許第4,910,561号公報に開示した自由曲面形状測定装置の構造を改良して、同装置に取り付けた歯車が測定に適当な位置に自動的に回転して設定されるようにし、測定機構をコンピュータ指令によって、その歯車の最適測定位置に移動設定し、得られた干渉縞を高度のCCDカメラによって撮影して、コンピュータに取り込み、その測定データを解析して歯面形状を得るようにした歯車の歯面形状の非接触測定方法が提供されるものである。

【0012】なお、上記の測定方法には、(イ)コンピュータ・シミュレーションによる所定の撮影位置から見た歯面形状の演算処理手法で作成された基準歯面像と、実際の歯車の測定歯面とを比較し、その差を算出する方法と、(ロ)実際にワーク材料から切削、研削加工工程を経て製造、加工された基準歯面又は歯車製品中における騒音の少ない歯面を有した歯車を（基準）マスタ歯車として、実際の測定歯面と比較し、その差を算出する方法の2つの方法を採用することができる。

【0013】また、本発明によれば、下記のような手段をとって、測定結果の解析過程で、いままでは困難であった縞解析を容易にする構成とすることもできる。すなわち、上述した本発明に係る歯面形状の測定は、レーザ干渉計で干渉縞を得て、それを解析して位相面を作り、斜め入射されたレーザ光の実効波長から演算して面形状を得るが、実際に加工された歯面はかなり粗く、その位相データを自動的に繋いで、1つの面を得ることはかなり困難である。

【0014】よって、コンピュータによる位相の繋ぎ方に新しい方法を採り入れるようにすることが好ましい。すなわち、従来の方法では、後述する図9に示すように、被測定歯車について、位相解析および位相接続を行い、次の基準面に就いても同様に位相解析および位相接続を行って、この両者の差をとり、この相対的位相差を長さに換算した後、誤差を得るような工程を経るものであり、繋ぎ方に煩瑣が伴う欠点がある。然しながら、本発明では、後述する図10に示すように、位相解析の段階で差引演算を行ってしまう。これにより、位相接続は1回で済むようになり、しかも干渉縞の縞数が少なくなるので、解析能力を高め、かつ非常に処理が容易になる。その結果、画像処理上で障害になっていた干渉縞解析の自動化を図り、短時間に高精度の歯面形状の測定データが容易に得られるのである。

【0015】従来の測定系における光干渉系では、物体光と参照光とが夫々、平面波であるが、その物体光が歯

10

20

30

40

50

面で反射して球面波になった歯面からの反射物体光と、平面波のままの参照光との間で干渉縞を得ることになる。従って曲率の大きな歯面では、干渉縞は密になり、解析精度が落ちるが、本発明によれば、参照光の光路中に歯面の曲率に相当した光学効果を有する所謂等価レンズを挿入して干渉させると、干渉縞の縞数が少なくなり（次数の低減）、解析も容易になる。このような干渉系とすることにより、干渉計の物体光と参照光の干渉縞を少なくして解析を行い易くすることができる。

【0016】なお、上述した内容を持ち、図1より図12に説明されているような構成の非接触歯車測定システムを構成することが好ましい。本発明の方法では、コンピュータに記憶させた歯車の仕様、例えば、歯番号、モジュール、圧力角、ねじれ角、転位係数、歯幅等から、最適撮影位置の座標系のパラメータ、例えば、歯車の軸方向、半径方向、接線方向、ねじれ角等の移動量をデータベースによって導き出すと（つまり、基準シミュレーション像を得る）、歯車と測定装置とをそれらのデータに従って設定し、干渉縞を得て、その干渉縞像を撮影する。然し、機械的光学的設定には精度に限度があり、特に歯車歯面のような非対称的な曲面を有したものの場合、基準シミュレーション干渉縞像とは直ちに一致し難い。つまり、基準シミュレーション干渉縞像は、歯面の形状と測定装置の干渉系の光学的仕様に従ってCCD面上に到達する歯面の像をコンピュータで計算したものである。そこで一方の撮影された測定歯面像の各ピクセルの位相を一応計算した後、基準シミュレーション像との不一致が大きければ、その歯面の位相を装置の光路に従って逆光線追跡を行い、データを元の歯面位置に戻す。次いで歯面像と比較して誤差を修正し、再度、光線追跡を行う。このようにして光線追跡、逆光線追跡を繰り返す、シミュレーション像と撮影像間のデータを収斂することによって的確な位相面を得る。

【0017】これらは、全てコンピュータによって実行される。この位相面をその各点に入射するレーザ光の実効波長に従って高低差に換算し、地図のように等高線に沿って色分けすれば、歯面の形状誤差表示を得られる。また、本発明によれば、上述したシミュレーション像を基準歯面とすることに代えて歯面形状の基準となるもの（マスタ歯面）を特別に精密加工を行うことによって製造できた場合又は、一般の歯車製造の間に振動、騒音の発生が少ない極めて高品質の歯面形状が得られた場合に、これらの歯面を基準歯面にして、他の歯車、例えば、量産歯車の歯面形状の測定を行うようにしても良いのである。

【0018】前者のシミュレーション像を用いる測定方法は、所謂、理論的歯面像を基準としていて基準面の実体がないのに対し、後者のマスタ歯面または高品質の歯面を基準面とする方法では実体のある歯面同志の比較測定となる。他方、本発明の歯面形状の被接触測定方法に

おける干渉縞解析手法における位相計算は、次のようにして遂行される。すなわち、測定時に得られた干渉縞は、白黒縞模様がサイン波的に変化しており、そのままでは高低が不明である。

【0019】そこで、参照光の途中に波長を $n$ 分割して順次、ミラーを動かすことのできる装置、つまり位相シフト装置を置き、ミラーを微動して $1/2$ 波長の $1/n$ づつ $n$ 回移動させると、縞は1波長分移動する。撮影した $n$ 枚のデータの同一ピクセル $n$ 個のデータ（CCDカメラのデータは光の強度）を取り出して位相解析すると、歯面のそのピクセル点の位相が算出される。このような計算を全ての歯面上のピクセルについて実行すると、歯面の位相面が得られる。すなわち、位相シフト法として周知の方法である。

【0020】さて、歯面のような通常の加工面の面精度から見て粗い加工面では、この位相間には不連続の部分があって、面としてのデータ作成に当たって、その接続を自動的に行うことは容易でない。依って一般的には、一部を測定作業による手作業に頼っているのが実情である。従って、作業は煩雑で、かつ作業者の主観的誤差も入り込むことがある。本発明は、この解析手法の自動化を図り得るようにしたものである。

【0021】すなわち、従来の方法によると、図8(a)および図9に示すように、基準歯面と被測定歯面の2つの歯面の形状を解析し、差を算出しなければならない。これを $x-x$ 断面に就いて行って順次並べたものが、図9（従来）及び図10（本発明）に図示した解説略示図における位相解析の部分である。これは $-\pi$ から $+\pi$ の間の白黒縞になっているので、これを接続して面形状となし、実効波長から高低に換算して歯面を得るものである。つまり、この測定過程では、被測定歯面と基準歯面に就いて2回行い、それぞれ計算し、差引演算して誤差を算出していた。

【0022】この場合、干渉縞を接続する繋ぎ作業は先に述べたように、加工面の縞が細くなり、かつ不連続な箇所があると、そのパターンをコンピュータで判定することは大変困難である。本発明では、図8bに示すフローチャートと図10に示す位相解析経過の解説図により説明してあるように、両者の位相が計算された段階で、これを繋ぎ、そのまま差引する。このようにすると、（1）縞数が少ない状態になる、（2）1回の位相接続で完了する等の利点を有する。この結果、本発明の測定方法によれば、従来、画像処理の自動化上の難点であった干渉縞の解析が容易になった。

【0023】また、従来の非接触測定方法によれば、干渉計で歯車を測定する場合、参照光と物体光とはビーム・エキスパンダによって拡張されて平面波として干渉しているが、3次元的に振じれた歯面を経由した物体光との干渉縞は高密度になる。故に、そのままでは後の位相計算に劣化を来し、解析困難になる。そこで、本発明

は、参照光の途中に歯車歯面の曲率に略等価の光学要素としてレンズを配置し、これによって干渉縞数を減少させて解析を容易化するものである。この場合に歯面相当のレンズを多数、用意して頻繁に交換し、適正な干渉縞数に設定しても良いが、実用的ではない。然るに、例えば、自動車の車体内部に組み込まれる歯車であると、略その歯車仕様範囲に入り、極端に大きなバラツキはない。従って、平均的な等価レンズを配して縞数を少なくし、解析を容易化すれば良い。この場合、歯面はレンズのような完全な球面ではないので、シミュレーションによって干渉縞が最も少なくなるような形状のレンズを選択することができる。

【0024】本発明は、上記のような歯車の歯面形状を非接触測定し、解析するようにした歯面形状測定方法を提供するものである。

【0025】

【実施例】以下、本発明による歯面形状の非接触測定方法の原理と作用とを添付図面に示す実施例に基づいて詳細に説明する。図1は、本発明に係る歯面形状の非接触測定に用いる測定装置の構成を示した斜視図である。同装置は、測定台2を有し、この測定台2はアイソレータ8によって装置の設置場所の周囲の振動から防護されたベース本体1の上に搭載され、測定機構4を搭載したまま、歯車の半径方向に、その大きさに従って、サーボモータ等の駆動モータ（図示に現れない）で移動・調整できる構造になっている。また、測定機構4は、コラム状の測定機構支持装置3により上下方向にも駆動モータ（図示なし）により移動可能になっている。測定台2上に操作盤5があり、歯車支持装置6の支軸7a上に被測定歯車7を設定したり、スイッチにより駆動モータを作動させて測定位置に測定機構4を移動、設定させることができる。

【0026】被測定歯車7や測定機構4の設定が終了すると、その後はコンピュータの指令によって所定の位置に移動する。図2は、(a)が測定機構4の内部を側面から見た機構図であり、(b)が、(a)におけるX-X矢視線から見た平面図である。同機構4の中心に回転中心軸20があり、その周囲の干渉計の構成部品を背負ったまま、同中心軸20は回転可能に支承されている。そして、被測定歯車7のねじれ角を設定する場合、その角度はロータリー・エンコーダ9によって読み取り可能に構成されている。

【0027】さて、レーザ光源23から出た測定用のレーザ光束はプリズム又はミラー16によって方向を変換されてビーム・エキスパンダ11によって必要な規模のレーザ光束まで拡大されて平行光線となる。このビーム・エキスパンダ11の間には空間フィルタ12が設けられており、レーザ光束中のノイズをカットする。ビーム・エキスパンダ11によって拡大された光は、1/2波長板13を通過後、偏光ビームスプリッタ15に導か

れる。ここで、参照光Rと物体光Sに分割される。参照光Rは一旦、下方に下がり、1/4波長板14を通過し、位相シフト装置27（図3(a)を参照）のミラー27aで反射され、再び、偏光ビームスプリッタ15を通過してハーフ・ミラー19に至る。

【0028】位相シフト装置27は、その位置を前後に調整可能であり、歯面を照射する物体光Sとの光路長を等しくする調整が可能である。物体光S、偏光ビームスプリッタ15を通過して直進し、プリズムまたはミラー16によって90°に渡り進路方向を変更されて光学測定子25の下部の偏角プリズム17に入る。

【0029】ここで斜め入射方向に方向変換を受ける。ここで、物体光Sは被測定歯車7の歯面を照射し、その反射光は上部の偏角プリズム17を通り、更に、ジンバル・プリズム18を通して方向を変え、CCDカメラの方向にあるジンバル・ハーフミラー19に向かう。そしてここで、参照光Rとの間で干渉が生じ、歯面形状に応じた縞を得る。撮像レンズ24により干渉縞を有する歯面の像はカメラ10のCCD面上に結像する。ジンバル・プリズム18及びジンバル・ハーフミラー19はX軸、Z軸の周りに回転可能な構造で設けられ、歯面の反射像と参照光Rが干渉するように微動し、その像がカメラ10に取り込めるよう、精密なマイクロ・サーボモータ（図示なし）を駆動手段にして駆動されるよう構成されている。

【0030】被測定歯車7は、歯車支持装置6に支承軸7aを介して取付けられ、同歯車支持装置6が有する駆動モータによって所要の回転駆動がなされる。図3(a)は、図2のA-A線から見た正面図である。同図3(a)において、上記測定機構4の全体は、中心軸20の周りに矢印Pで示す両方向に回転可能に設けられている。すなわち、同機構4はモータ28aと送りねじ28bとによってベルト掛けされた装置によって駆動され、左右に±45°の回転が可能に構成されている。

【0031】他方、偏角プリズム17はプリズム角θを有して形成され、図3の(b)に図示のような近二等辺三角形形状を有し、中央部に平行な面17cを有している。上記偏角プリズム17を担持する光学測定子25は、歯車仕様によって交換可能であり、その光学測定子25の上下に1個づつ当該偏角プリズム17が取付けられているので、その角度θを選択することによって、被測定歯車7の歯面への入射角を変えることができる。

【0032】図4は、測定機構4において、光学測定子25を移動して左歯面測定用、右歯面測定用に切り換える状況を(A)図、(C)図として示している。図5は、測定機構4が歯車7のねじれ角に沿って傾けられた状態を示しているものである。図6は干渉系の参照光Rの光路中に歯面曲率と等価の補正レンズ32を挿入した状況を示しており、同図のX-X矢視が一部取り出し図示してある。従って、この図6において図2に示した要



素を同じ要素は同一番号で示してある。

【0033】図7と図8とは、図1～図5に示した測定装置により実施される非接触測定方法の2つの手法、つまり、コンピュータ内蔵の歯車仕様に基づくシミュレーション像を基準面とする手法と実際のマスタ歯面を基準面とする手法との2手法を説明したフローチャートである。図9と図10および図11とは、位相接続手法における従来技術の方法と本発明において用いる方法とを解説図示した説明図である。すなわち、図9は、測定装置のCRTの画面上の歯面の $xy$ 座標のうち、 $x$ 座標に沿った各ピクセル、すなわち、一断面の従来の方法による位相解析手法を示すもので、歯面がCRT上にどのように写っているかに依って異なるが、例えば、同図(ロ)のように撮影されていれば歯幅方向に沿った各ピクセルの従来の方法による位相解析の歯幅方向の1断面となる。図10、図11は、同じく、本発明による位相接続手法を示し、相対的位相差を求め、この位相差を接続して長さに換算して誤差を得るもので、得られた結果は1断面の誤差として表示される。

【0034】図12は、図10、図11に示した本発明の方法をフローチャートで示した図である。図13は図1に示した本発明の測定方法の実施に用いる測定装置における主としてコンピュータ関係の構成とデータの流れ、自動測定の命令系の流れを示す図である。また、図14は、データの表示例であり、この左右歯面の領域の上に色付けされた等高線図を載せて表示する。

【0035】次に、上述した図1等にも示す非接触測定装置を用いた本測定方法を説明する。まず、測定が開始されると、歯車仕様から撮影用のパラメータがコンピュータによって指示され、光学測定子25は、図4の(b)に図示された中央0点位置に移動する。ここで、測定機構4は、被測定歯車7のねじれ角 $\beta$ に合致した状態まで傾けられる(図5参照)。通常は、この $\beta$ なる角度は基礎円筒上のねじれ角 $\beta_g$ に設定するので、物体光Sのビームは、歯車の創成母線に沿って歯面を照射するようになる。この状態では、光学測定子25の偏角プリズム17のピンボール17dはカメラ10によって補足されており、モニターにも表示されている。なお、シミュレーションのプログラムに従って、歯車7をその緒元に応じて半ピッチ角度分だけ微動回転させ歯の中央を原点位置に選択、設定すれば原点位置が設定できる。

【0036】この状態で、左右何れかの歯面を選択し、光学測定子25を左右何れかの歯面撮影時の所定の位置に移動し(図4(a)又は(c))、かつ、測定プログラムで指示されている位置に測定機構4を移動すると、カメラ10に干渉縞を持った歯面が現れる。コンピュータから位相シフト装置に指令を与え、位相シフト装置27を駆動してそのミラー27aを波長の $1/n$ ずつ微動させ、 $n$ 回、即ち縞の1ピッチ分のデータを取り込む(図10及び図11参照)。

【0037】ここで、既述のような2つの手法におけるシミュレーション像を用いる時には図7に示す処理フローを経て測定が実施される。また、マスタ歯面を用いる場合には、図8に示すように、上記の測定をマスタ歯面と被測定歯面の2回に渡って行ってデータを取り込む。勿論、マスタ歯面は一度だけ測定しておき、コンピュータの記憶手段内部に記憶しておけば、常時、取り出して解析に使用することができる。

【0038】この解析過程は、図7、図8及び図10、図11に示すような、新しい方法が採られ、従来、極めて困難であった位相の繋ぎ(アンラッピング)の自動化が可能になるのである。歯面の位相が計算される後は、その点の入射角に従って変化する。レーザ光の実効波長から長さに換算する。このデータからは、立体表示のための等高線、その色分け、また歯形或いは歯すじに沿った切断面、更に、創成母線に沿った切断面等、各種のデータ表示の展開が可能になる。一般的には、はすば歯車でも歯車技術者が理解し易い図14の方法が採られる。

【0039】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、従来のホログラム干渉を使用する方法では、まず、基準面とそのホログラムの作製に時間と労力を要し、直ちに測定にはいることはできなかったが、本発明によれば、ホログラムの作製過程を排除でき、コンピュータによってシミュレーションされた、換言すれば、常に一定の基準歯面像との差が測定され、信頼度の高い測定結果を得ることができる。また、1つの基準歯面を取り出して、これと比較測定することも可能である。このことは、現代の複雑な設計のハイテクな歯車の設計や製造に貴重なデータを提供し、故に、品質に大きく寄与することができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る歯車の歯面形状の非接触測定方法の実施に用いる非接触歯面測定装置の概略外観図である。

【図2】同測定装置の測定機構の側面図と一部の取り出し矢視図である。

【図3】(a)は図2のA-A線から見た正面図、(b)は偏角プリズムの構造を示すための取り出し斜視図である。

【図4】(a)～(c)は左右歯面の切替え状態と中央0点位置とを示した測定機構の略示正面図である。

【図5】被測定歯車のねじれ角に従って測定装置における測定機構を回転した状態を示す略示正面図である。

【図6】干渉縞を減少させるために参照光々路の途中に歯面と等価の補正用レンズを設けた構成例を示す図2と同様の側面図である。

【図7】理論歯面のシミュレーション像を基準面とする測定方法のプロセスを示すフローチャートである。

11

12

【図8】マスタ歯面と被測定歯面との比較測定方法を実施する場合のフローチャートである。

【図9】画面上の歯面のx y座標のうち、x座標に沿った各ピクセル、すなわち、一断面の従来の測定方法における位相解析手法を説明する説明図である。

【図10】同断面の本発明による位相解析過程を説明する説明図の前半部である。

【図11】同断面の本発明による位相解析過程を説明する説明図の後半部である。

【図12】図10、図11に示す測定方法のフローチャートである。

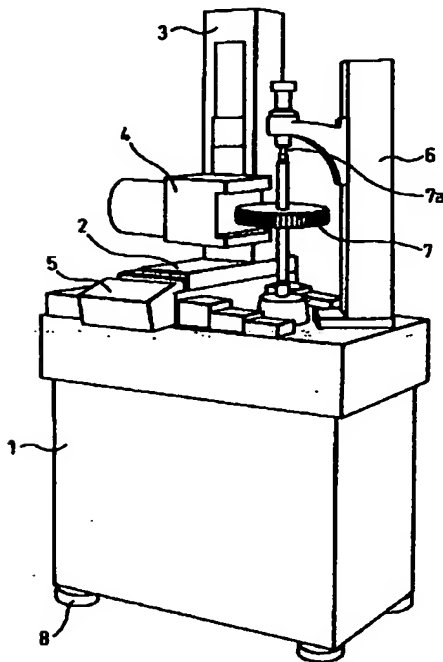
【図13】図1に示した被接触歯面形状測定装置におけるコンピュータによるデータ処理と自動測定処理等の構成を示す機構図である。

【図14】歯面誤差の表示例である。

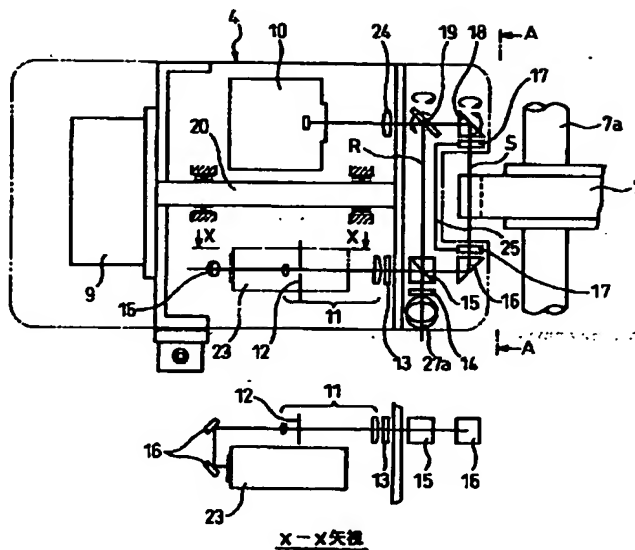
# 【符号の説明】

- 4…測定機構
- 7…被測定歯車
- 7a…支軸
- 10…CCDカメラ
- 15…偏光ビームスプリッタ
- 16…ミラー
- 17…偏角プリズム
- 19…ハーフ・ミラー
- 20…中心軸
- 25…光学測定子
- 27…位相シフト装置
- 32…補正レンズ
- R…参照光
- S…物体光

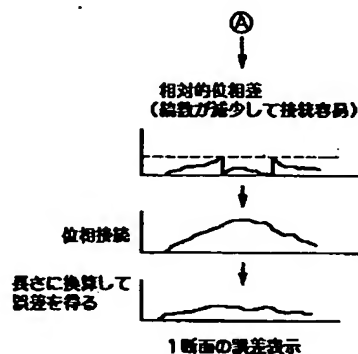
【図1】



【図2】

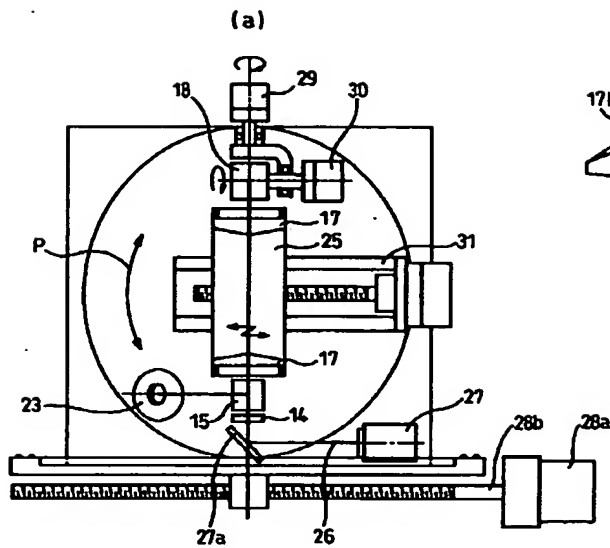


【図11】

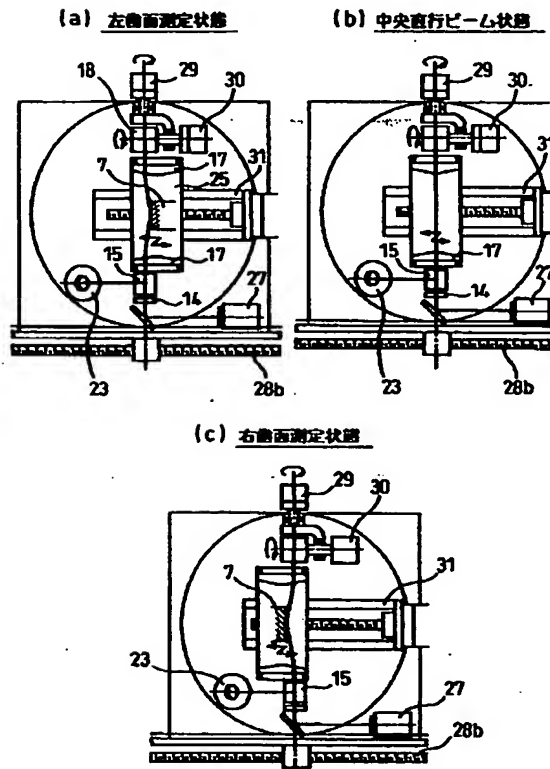




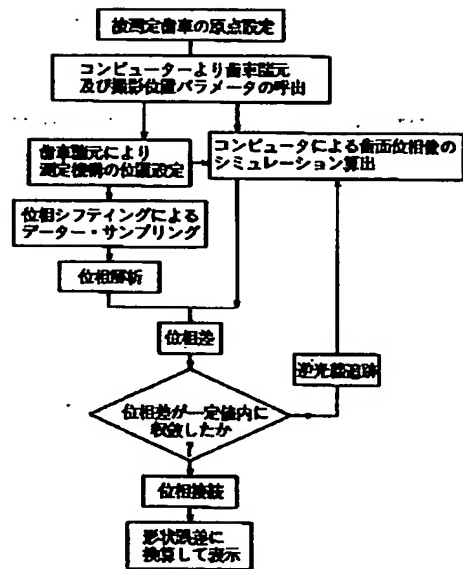
【図3】



【図4】

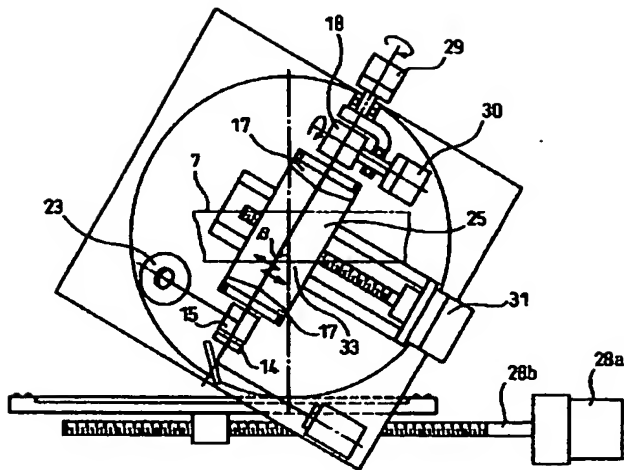


【図7】

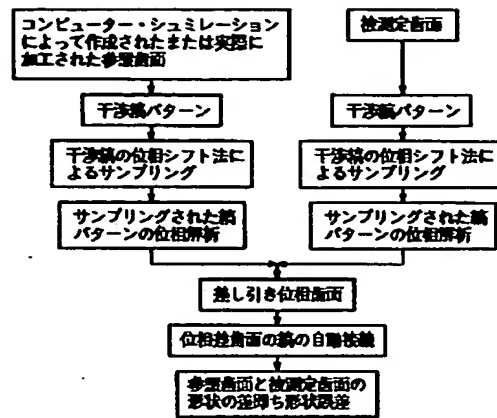


理論曲面のシミュレーション値と  
測定曲面の比較測定法

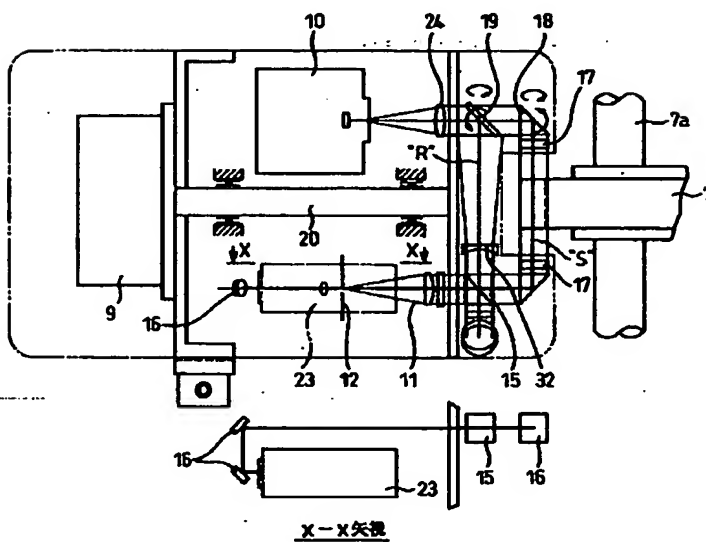
【図5】



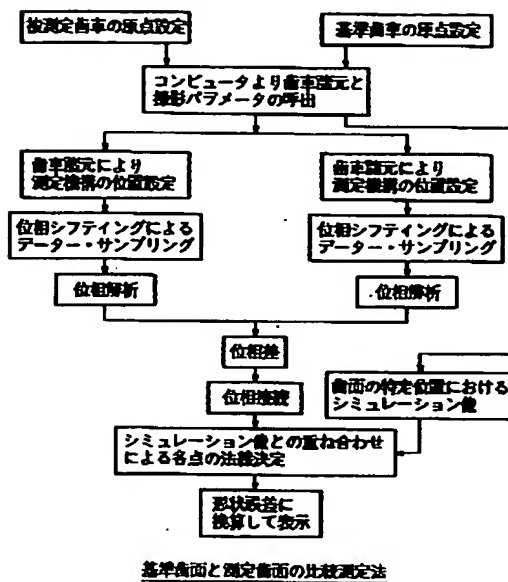
【図12】



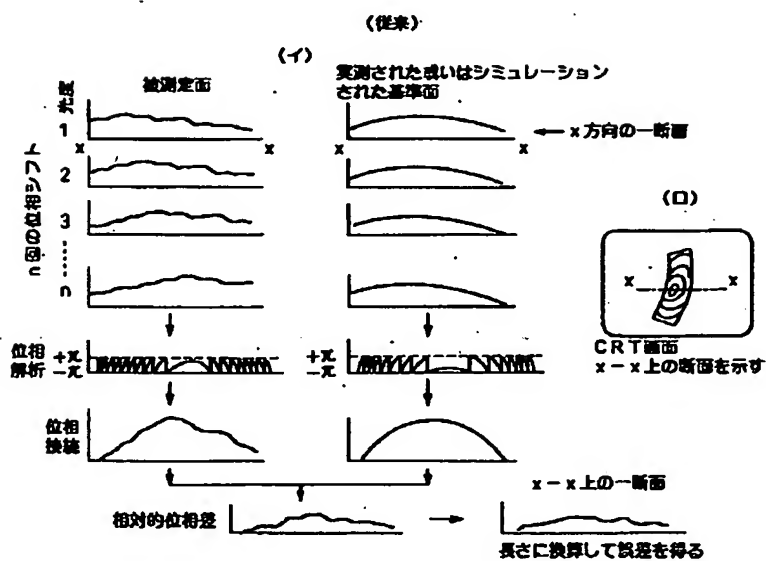
【図6】



【図8】

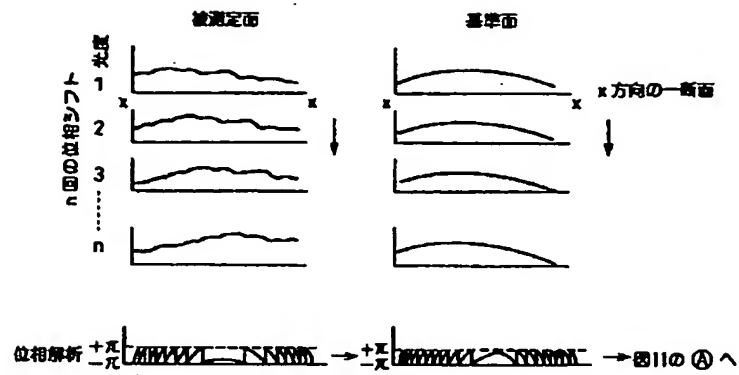


【図9】

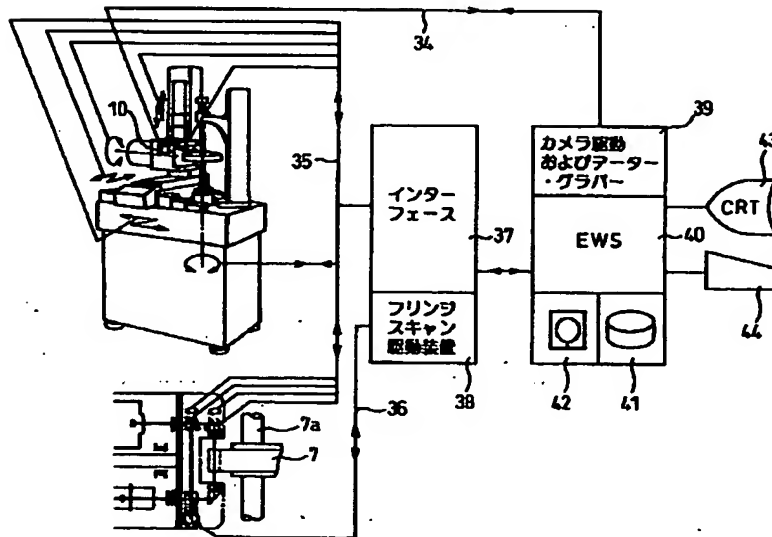


【図10】

(本発明)

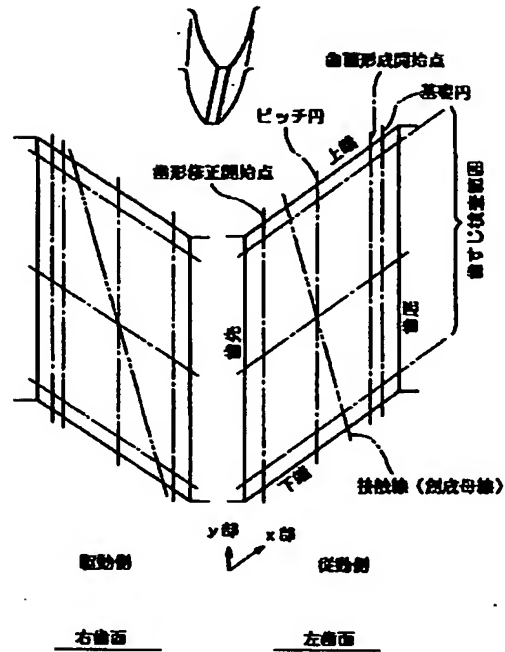


【図13】



【図14】

右ねじれ（または左ねじれ）



フロントページの続き

(72)発明者 斉藤 義昭

大阪府東大阪市花園東町2丁目14-17

(72)発明者 鈴木 充男

奈良県生駒市萩の台4丁目3-17